



BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

076374
sur 1

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 07 JUIL. 2003

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr



26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08
Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 94 86 54

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 1/2

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

08 540 W / 260899

REMISE DES PIÈCES DATE 9 AOUT 2002 LIEU 75 INPI PARIS N° D'ENREGISTREMENT 0210140 NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE - 9 AOUT 2002 PAR L'INPI Vos références pour ce dossier <i>(facultatif)</i> 120698/SH/SSPD/CBa		1 NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE COMPAGNIE FINANCIERE ALCATEL Département PI Stéphane HEDARCHET 30 avenue Kléber 75116 PARIS	
Confirmation d'un dépôt par télécopie <input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie			
2 NATURE DE LA DEMANDE		Cochez l'une des 4 cases suivantes	
Demande de brevet		<input checked="" type="checkbox"/>	
Demande de certificat d'utilité		<input type="checkbox"/>	
Demande divisionnaire		<input type="checkbox"/>	
<i>Demande de brevet initiale</i> N° _____ Date ____/____/____ <i>ou demande de certificat d'utilité initiale</i> N° _____ Date ____/____/____			
Transformation d'une demande de brevet européen <i>Demande de brevet initiale</i> N° _____ Date ____/____/____			
3 TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) CIRCUIT DE CONDITIONNEMENT D'UNE SOURCE AU POINT DE PUISSANCE MAXIMUM			
4 DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE		Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ Pays ou organisation _____ N° _____ Date ____/____/____ <input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
5 DEMANDEUR		<input type="checkbox"/> S'il y a d'autres demandeurs, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»	
Nom ou dénomination sociale		ALCATEL	
Prénoms			
Forme juridique		Société Anonyme	
N° SIREN		5.4.2.0.1.9.0.9.6	
Code APE-NAF			
Adresse	Rue	54, rue La Boétie	
	Code postal et ville	75008 PARIS	
Pays		FRANCE	
Nationalité		Française	
N° de téléphone <i>(facultatif)</i>			
N° de télécopie <i>(facultatif)</i>			
Adresse électronique <i>(facultatif)</i>			

BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE 2/2



Réservé à l'INPI

REMISE DES PIÈCES

DATE

9 AOÛT 2002

LIEU

75 INPI PARIS

N° D'ENREGISTREMENT

0210140

NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

DB 540 W / 250809

Vos références pour ce dossier :

(facultatif)

120698/SH/SSPD/CBa

5

6 MANDATAIRE

Nom

HEDARCHET

Prénom

Stéphane

Cabinet ou Société

Compagnie Financière Alcatel

N° de pouvoir permanent et/ou
de lien contractuel

PG 9222

Adresse

Rue

30 Avenue Kléber

Code postal et ville

75116 | PARIS

N° de téléphone (facultatif)

N° de télécopie (facultatif)

Adresse électronique (facultatif)

7 INVENTEUR (S)

Les inventeurs sont les demandeurs

☐ Oui
☒ Non

Dans ce cas fournir une désignation d'inventeur(s) séparée

8 RAPPORT DE RECHERCHE

Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)

Établissement immédiat
ou établissement différé
☒
☐

Paiement échelonné de la redevance

Paiement en trois versements, uniquement pour les personnes physiques

☐ Oui
☒ Non
**9 RÉDUCTION DU TAUX
DES REDEVANCES**

Uniquement pour les personnes physiques

☐ Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition)
☐ Requête antérieurement à ce dépôt (joindre une copie de la décision d'admission pour cette invention ou indiquer sa référence):
Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite»,
indiquez le nombre de pages jointes
10 SIGNATURE DU DEMANDEUR
XX DU MANDATAIRE
 (Nom et qualité du signataire)

Stéphane HEDARCHET / LC 40 B

**VISA DE LA PRÉFECTURE
OU DE L'INPI**

CIRCUIT DE CONDITIONNEMENT D'UNE SOURCE AU POINT DE PUISSANCE MAXIMUM

La présente invention concerne les sources de puissance et plus précisément
5 l'exploitation de sources de puissance pour lesquelles la courbe de la puissance
fournie en fonction de la tension aux bornes de la source présente un maximum.

Pour une telle source, la puissance fournie est maximale lorsque la tension
présente une valeur donnée. Il est intéressant pour exploiter au mieux la source de
puissance – en tirer une puissance maximale – que la tension aux bornes de la
10 source soit autant que possible égale à cette valeur donnée.

Les générateurs solaires utilisés pour les satellites constituent un exemple
d'une telle source de puissance. La figure 1 montre un graphe du courant et de la
puissance en fonction de la tension aux bornes du générateur, dans l'exemple d'un
générateur formé d'un montage série de 102 cellules Si BSR (Back Surface Reflector) ;
15 de telles cellules sont disponibles dans l'industrie spatiale. On a porté le long de l'axe
des ordonnées le courant fourni par le générateur solaire, en ampères, ainsi que la
puissance délivrée par le générateur, en watts; on a porté le long de l'axe des
abscisses la tension aux bornes du générateur, en volts. Les courbes 1 et 2 sur la
figure 1 correspondent à un fonctionnement à une température de $+100^{\circ}\text{C}$; les
20 courbes 3 et 4 correspondent à un fonctionnement à une température de -100°C . La
courbe 2 sur la figure 1 est un graphe du courant en fonction de la tension; elle
montre que le courant fourni par les cellules diminue lorsque la tension dépasse une
valeur de l'ordre de 35 V, ce qui s'explique par un phénomène de saturation des
cellules; la courbe 4 est similaire, à ceci près que la tension de saturation est de
25 l'ordre de 75 V. La courbe 1 sur la figure 1 est un graphe de la puissance fournie par
le générateur solaire; elle montre que la puissance fournie présente un maximum,
qui dans l'exemple présente une valeur de l'ordre de 100 W et est atteint pour une
valeur V_0 de la tension qui est de l'ordre de 38 V. La courbe 3 est similaire à la
courbe 2, avec des valeurs de puissance maximale et de tension V_0 respectivement
30 de l'ordre de 200 W et 70V. Ces courbes ne constituent qu'un exemple particulier de
générateur dans lequel le graphe de la puissance fournie en fonction de la tension de
sortie présente un maximum.



Pour exploiter un tel générateur solaire ou plus généralement une telle source de puissance, il est intéressant que la tension aux bornes de la source soit aussi proche que possible de la valeur V_0 de la tension pour laquelle la source délivre une puissance maximale. Ce problème se pose avec une acuité particulière

5 dans le cas des générateurs solaires utilisés dans les satellites. En effet, pour ces générateurs solaires, la tension V_0 pour laquelle la puissance fournie par le générateur est maximale varie en fonction de la température à laquelle le générateur est soumis, comme représenté à la figure 1; cette tension V_0 varie aussi en fonction

- de l'intensité du rayonnement solaire auquel le générateur est exposé;

10 - du vieillissement du générateur.

Pour un satellite, la température peut typiquement varier dans une plage de -100°C à $+100^{\circ}\text{C}$, dans l'exemple d'une orbite terrestre basse. Pour une orbite Mercure, la variation de température serait encore plus important et la température pourrait varier dans une plage de -150°C à $+250^{\circ}\text{C}$. L'intensité du rayonnement

15 solaire peut varier en fonction de l'éloignement du soleil; pour une mission depuis la Terre vers Mars, l'intensité du rayonnement solaire peut varier dans un rapport de 3 à 1. Le vieillissement du générateur provoque la mise en court-circuit de certaines cellules. Dans l'ensemble, la tension V_0 peut typiquement varier dans un rapport de 1 à 2, et pourrait par exemple varier de 40 à 80 V.

20 Il a donc été proposé d'exploiter les générateurs solaires, pour en extraire une puissance maximale, en recherchant que la tension aux bornes du générateur soit proche de la tension V_0 . Ces techniques sont connues sous le nom de "Maximum Power Point Tracking" (suivi du point de puissance maximal en langue française).

W. Denzinger, *Electrical Power Subsystem of Globalstar*, Proceedings of the

25 European Space Power Conference, Poitiers, France, 4-8 Septembre 1995, décrit le sous-système de puissance des satellites Globalstar. La recherche du point de puissance maximale s'effectue en considérant que le point de puissance maximale est atteint lorsque l'impédance dynamique du générateur est égale à l'impédance statique, autrement dit lorsque

30 $V/I = dV/dI$

c'est-à-dire lorsque

$$dI/I = dV/V$$

En toute rigueur, $V_I = \max$ implique $V_{dI} + I_{dV} = 0$ et donc $V/I = -dV/dI$. Denzinger oublie le signe -.

Ce document décrit un circuit utilisant un capteur de courant, un capteur de tension, deux circuits échantillonneurs, deux comparateurs, une bascule et un intégrateur.

- 5 Kevin Kyeong-II Choi et Alphonse Barnaba, *Application of the maximum power point tracking (MPPT) to the on-board adaptative power supply subsystem*, Note technique du CNES n°138, juillet 1998, décrit un sous-système d'alimentation électrique pour les satellites de faible puissance. Pour le suivi du point de puissance maximum, ce sous-système utilise un microcontrôleur associant une multiplication
- 10 numérique du courant par l'intensité et un algorithme de poursuite de la puissance à partir des valeurs calculées.

Ces solutions sont complexes à mettre en œuvre. Ceci conduit à centraliser le contrôle de suivi du point de puissance maximum des différents générateurs solaires ; cette centralisation affecte la fiabilité du sous-système d'alimentation

15 électrique et est incompatible de points de puissance maximum différents en tension d'une section de générateur solaire à l'autre. En outre, ces solutions exploitent les composantes directes de courants et/ou tensions, lesquelles quantités n'étant pas caractéristiques du suivi de point de puissance maximum.

Ce problème expliqué en référence aux générateurs solaires dans les

20 conditions des satellites se pose plus généralement pour toute source de puissance pour le graphe de la puissance fournie en fonction de la tension présente un maximum.

Il existe donc un besoin d'une solution permettant l'exploitation d'une source de puissance pour laquelle la courbe de la puissance fournie en fonction de la

25 tension aux bornes de la source présente un maximum. Une telle solution devrait, avec des moyens aussi simples et robustes que possible, assurer que la tension aux bornes de la source de puissance est dans la mesure du possible aussi proche que possible de la tension pour laquelle la puissance débitée est maximale.

Dans un mode de réalisation, l'invention propose en conséquence un circuit

30 de conditionnement d'une source de puissance pour laquelle le graphe de la puissance fournie en fonction de la tension aux bornes de la source présente un maximum, le circuit comprenant :

- un convertisseur continu / continu avec une entrée pour l'alimentation par la source de puissance et une sortie pour alimenter une charge;
- un circuit de commande du convertisseur par une consigne de puissance appliqué au convertisseur

5 - croissante tant que la dérivée de la tension d'entrée du convertisseur par rapport au temps est supérieure à une première valeur seuil négative et
 - décroissante tant que la dérivée de la tension d'entrée du convertisseur par rapport au temps est inférieure à une deuxième valeur seuil positive,
le taux de variation de la puissance moyen lorsque la consigne est croissante étant
10 inférieur à l'opposé du taux de variation de la puissance moyen lorsque la consigne est décroissante.

Avantageusement, la première et/ou la deuxième valeur seuil sont / est constante. On peut alors prévoir que les première et deuxième valeur seuil sont opposées.

15 Dans un mode de réalisation, la consigne de puissance croissante appliquée au convertisseur est une consigne de dérivée constante et positive de la puissance par rapport au temps.

 Dans encore un mode de réalisation, la consigne de puissance décroissante appliquée au convertisseur est une consigne de dérivée constante et négative de la
20 puissance par rapport au temps.

On peut aussi prévoir que la dérivée constante et positive est inférieure à l'opposé de la dérivée constante et négative.

 L'invention propose aussi un générateur conditionné, comprenant un tel circuit et une source de puissance pour laquelle le graphe de la puissance fournie en
25 fonction de la tension aux bornes de la source présente un maximum; la puissance fournie par la source est appliquée en entrée du convertisseur continu / continu.

 Dans un mode de réalisation, le générateur comprend une capacité en parallèle à la source de puissance. La source peut aussi présenter une capacité intrinsèque. De préférence, la source de puissance est un générateur solaire.

30 L'invention propose enfin un procédé de conditionnement d'une source de puissance pour laquelle le graphe de la puissance fournie en fonction de la tension aux bornes de la source présente un maximum, la puissance fournie par la source

étant appliquée à un convertisseur continu /continu; le procédé comprend l'application au convertisseur d'une consigne de puissance d'entrée

- croissante tant que la dérivée de la tension d'entrée du convertisseur par rapport au temps est supérieure à une première valeur seuil négative et
 - 5 - décroissante tant que la dérivée de la tension d'entrée du convertisseur par rapport au temps est inférieure à une deuxième valeur seuil positive,
- le taux de variation de la puissance moyen lorsque la consigne est croissante étant inférieur à l'opposé du taux de variation de la puissance moyen lorsque la consigne est décroissante.

- 10 On peut prévoir que la première valeur seuil est constante, et / ou encore que la deuxième valeur seuil est constante. Il est alors possible que les première et deuxième valeur seuil soient opposées.

- Avantageusement, la consigne de puissance croissante appliquée au convertisseur est une consigne de dérivée constante et positive de la puissance par rapport au temps. Il est aussi possible que la consigne de puissance décroissante appliquée au convertisseur soit une consigne de dérivée constante et négative de la puissance par rapport au temps. Si tel est le cas, la dérivée constante et positive peut être inférieure à l'opposé de la dérivée constante et négative.

- 20 D'autres caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture de la description qui suit de modes de réalisation, donnés à titre d'exemple et en référence aux dessins, qui montrent :

- figure 1, un graphe du courant et de la puissance en fonction de la tension aux bornes d'une source de puissance à laquelle l'invention s'applique;
 - figure 2, une représentation schématique d'un générateur conditionné selon un mode de réalisation de l'invention;
 - 25 - figure 3, un graphe de la puissance délivrée par la source de puissance en fonction de la tension à ses bornes, dans le générateur conditionné de la figure 2;
 - figure 4, une vue plus détaillée du circuit de commande du générateur conditionné de la figure 2.
- 30

On donne dans la suite de la description un exemple d'application de l'invention au suivi du point de puissance maximum dans un générateur solaire. Comme expliqué ci-dessus, un tel générateur n'est qu'un exemple d'une source de



puissance pour laquelle le graphe de la puissance fournie en fonction de la tension aux bornes de la source présente un maximum.

La figure 2 est une représentation schématique d'un générateur conditionné selon un mode de réalisation de l'invention, dans une application d'alimentation en tension d'un bus de satellite. Le générateur conditionné présente d'une part un
5 générateur solaire 10, et d'autre part un circuit de conditionnement. Ce circuit de conditionnement permet au générateur conditionné de délivrer une puissance sous une tension fixe, autrement dit de se comporter comme une source de tension, tant que la puissance délivrée est inférieure à la puissance maximale que peut fournir le
10 générateur solaire, alors que le générateur solaire n'est capable de fournir une puissance variable, à concurrence du maximum de puissance disponible, qu'à des tensions variables.

La figure montre le générateur solaire 10 – la source de puissance – qui est monté en parallèle à une capacité 12. La tension V_{in} aux bornes du générateur
15 solaire et de la capacité est appliquée en entrée d'un convertisseur continu / continu (ou convertisseur DC/DC) 14. Cette représentation de la source, de la capacité et du convertisseur est schématique; de fait, un générateur solaire présente intrinsèquement une capacité; le convertisseur peut aussi en entrée présenter une capacité. La capacité 12 n'est pas nécessairement un composant distinct du générateur et du
20 convertisseur, mais peut être constituée par la capacité du générateur et/ou du convertisseur. La capacité 12 peut aussi correspondre à la combinaison de la capacité intrinsèque du générateur solaire, d'une capacité additionnelle et d'une capacité prévue dans le convertisseur.

La tension V_{out} en sortie du convertisseur 14 correspond au bus de tension
25 du satellite 16; celui-ci comprend habituellement une batterie alimentant les charges, mais ceci est sans incidence sur le fonctionnement du circuit.

Le convertisseur 14 est commandé par un circuit de commande 18. Ce circuit de commande 18 reçoit en entrée la tension d'entrée V_{in} appliquée au convertisseur ainsi que le courant I_{out} en sortie du convertisseur; la figure montre
30 schématiquement le capteur de tension 20 et le capteur de courant 22. Le circuit de commande fournit un signal de commande appliqué à l'entrée de commande du convertisseur 14, comme représenté en 24 sur la figure.

Comme expliqué plus haut, la puissance fournie par le générateur solaire 10 est fonction de la tension V_{in} aux bornes du générateur; la tension pour laquelle la puissance fournie est maximale peut varier dans une plage $[V_{0min}, V_{0max}]$, dans l'exemple une plage de 40 à 80 V. Une solution courante est que le bus de tension 5 du satellite fonctionne à une tension nominale de 28 V, qui varie entre 23 et 37 V en fonction de la charge et de l'alimentation du bus de tension. En pratique, la tension nominale du bus est inférieure la borne inférieure V_{0min} de la plage dans laquelle varie la tension pour laquelle la puissance fournie est maximale. Dans une telle configuration, le convertisseur 14 peut être un convertisseur PWM (à modulation de la 10 largeur d'impulsion) du type Buck. Ce convertisseur est particulièrement adapté à fonctionner avec une tension de sortie inférieure à la tension d'entrée. Le signal d'entrée est dans un tel cas un signal représentatif du rapport cyclique de modulation de la largeur d'impulsion.

Le circuit de commande 18 contrôle le convertisseur 14, à partir des 15 mesures de tension d'entrée V_{in} et de courant de sortie tout du convertisseur, par application de consigne de courant de sortie croissante ou décroissante. Ces consignes de courant sont assimilables à des consignes de puissance au facteur de proportionnalité près que constitue la valeur en tension du bus. Plus spécifiquement, le circuit de commande applique au convertisseur une consigne de puissance 20 croissante tant que la dérivée par rapport au temps de la tension extraite du générateur solaire 10 et de la capacité 12 en entrée du convertisseur est supérieure à une première valeur seuil négative. Le circuit de commande applique au convertisseur une consigne de puissance décroissante tant que la dérivée par rapport au temps de la tension extraite du générateur solaire 10 et de la capacité 12 en 25 entrée du convertisseur est inférieure à une deuxième valeur seuil positive. Ainsi, le convertisseur est piloté de sorte à assurer que

$$\frac{dP_{IN}}{dt} > 0$$

tant que

$$\frac{dV_{IN}}{dt} > V_r$$



V_r , constituant la première valeur seuil négative. P_{in} est la puissance extraite de la source et de la capacité, autrement dit la puissance appliquée en entrée du convertisseur. Le convertisseur est piloté de sorte à assurer que

$$\frac{dP_{IN}}{dt} < 0$$

5 tant que

$$\frac{dV_{IN}}{dt} < V_f$$

V_f , constituant la deuxième valeur seuil positive.

Dans les solutions de W. Denzinger et Kevin Kyeong-II Choi mentionnées ci-dessus, il est proposé d'exploiter les composantes directes de courants et/ou tensions.

10 Or ces quantités ne sont pas caractéristiques du suivi de point de puissance maximum. A l'inverse, la solution proposée par l'invention n'exploite par contre que les dérivées temporelles de ces quantités; ces dérivées sont bien caractéristiques du suivi du point de puissance maximum, quelles que soient les valeurs des composantes directes.

15 La figure 3 montre un graphe de la puissance délivrée par le générateur solaire en fonction de la tension aux bornes de ce générateur. On a porté en ordonnée la puissance fournie par le générateur solaire 10, et en abscisse la tension aux bornes de ce générateur. La figure montre en traits fins la courbe de la puissance délivrée par le générateur solaire 10 en fonction de la tension à ses bornes; cette
20 courbe présente un maximum noté MPP sur la figure; en ce point, pour une tension V_{MPP} , le générateur solaire délivre une puissance P_{MPP} maximum. Cette courbe en traits fins pourrait être qualifiée de courbe de puissance statique – dans la mesure où elle est représentative d'une caractéristique puissance /tension du générateur solaire isolé. La figure 3 montre en traits gras le cycle de puissance suivi lorsqu'est appliquée au
25 convertisseur la commande définie plus haut. La courbe en traits gras montre la puissance extraite de l'ensemble générateur solaire 10 et capacité 12.

Dans l'exemple considéré, on a

- une consigne de puissance croissante ayant une dérivée k_r constante,
- une consigne de puissance décroissante ayant une dérivée k_f constante,
- 30 - des valeurs de seuil V_r et V_f opposées.

Les deux premières conditions sont choisies pour la simplicité de l'explication; la troisième condition assure un fonctionnement autour du point de puissance maximum statique, comme expliqué plus bas. On a noté R et F sur la figure les points du cycle correspondant aux puissances dynamiques maximale et
5 minimale.

On suppose au départ que le générateur solaire fonctionne avec une puissance légèrement inférieure à la puissance maximale P_{MPP} et que la tension est supérieure à la tension V_{MPP} . On suppose aussi que la consigne appliquée au convertisseur est une consigne de puissance croissante. Le convertisseur continu /
10 continu assure donc que la puissance totale, extraite du générateur solaire 10 et du condensateur 12, croît. Le point de fonctionnement du générateur solaire 10 se déplace sur la courbe en traits fins, vers le maximum MPP ; la capacité 12 est déchargée pour compléter la puissance fournie par le générateur solaire 10. La tension décroît lentement.

15 Lorsque la puissance maximum du générateur solaire 10 est atteinte, le générateur solaire ne 10 peut pas fournir de puissance supplémentaire : la capacité 12 est alors déchargée plus rapidement pour fournir la puissance requise par le convertisseur, sous la consigne de puissance croissante. Ceci accroît la vitesse de chute de la tension V_{IN} ; du fait de la chute de tension, la puissance fournie par le
20 générateur solaire 10 chute aussi, ce qui accentue encore la décharge de la capacité 12. La dérivée de la tension V_{IN} par rapport au temps chute de plus en plus vite. . .

Lorsque cette dérivée de la tension V_{IN} atteint la valeur seuil négative V'_t , le circuit 18 applique au convertisseur 14 une consigne de puissance décroissante. Le basculement correspond au point R de la courbe en traits gras.

25 Le convertisseur reçoit alors une consigne de puissance d'entrée décroissante. Dans un premier temps, la tension décroît, avec une variation plus lente, la capacité 12 continuant à se décharger. Lorsque la puissance extraite de la source et de la capacité continue à diminuer, il arrive un moment où la capacité cesse de se décharger, ce qui correspond sur la courbe en traits gras à l'intersection
30 de la partie gauche de la courbe avec la courbe en traits fins et au minimum de la tension. La puissance extraite du générateur solaire 10 est alors suffisante pour fournir la puissance requise par le convertisseur 14. Comme la consigne appliquée au convertisseur est encore une consigne de puissance décroissante, la capacité se

recharge; la tension remonte; compte tenu de la consigne de puissance décroissante appliquée au convertisseur, la puissance extraite par le convertisseur continue de décroître. Comme la tension remonte, la puissance fournie par le générateur solaire tend à croître, ce qui augmente encore la dérivée de la tension par rapport au temps.

- 5 Lorsque la dérivée de la tension par rapport au temps dépasse la deuxième valeur seuil positive, le circuit de commande applique au convertisseur une consigne de puissance croissante. On revient à l'état initial considéré plus haut.

La stabilité de la commande est assurée, dans le cas où l'on applique une consigne de dérivée de puissance constante, par la condition

10 $k_r < -k_f$

Intuitivement, ceci revient à dire que le passage sur la courbe en gras de la figure 3 du point R au point F est plus "rapide" que le passage du point F au point R.

Autrement dit, il est expliqué plus haut que le seuil de dV/dt négatif est atteint avec une chute de plus en plus rapide de la tension; la condition $k_r < -k_f$ signifie que l'on

- 15 applique une consigne de puissance "assez" croissante pour rapidement revenir vers une situation stable. Un rapport de 1 entre les valeurs absolues correspond à la limite de stabilité. Le choix d'une valeur dépend essentiellement du convertisseur :

rapprocher la valeur du rapport de 1 impose de disposer d'un convertisseur de performances plus précises, et augmente le coût. Dans les applications à des

- 20 satellites, les variations de la courbe de puissance en fonction de la tension pour le générateur solaire (le passage des courbes 1 et 2 aux courbes 3 et 4) sur la figure 1, comme les vitesses de variations des caractéristiques de la batterie appliquée comme charge du circuit conditionné sont lentes et ne sont donc pas généralement dimensionnantes. On peut typiquement sélectionner un rapport $-k_f/k_r$ voisin de 2,

- 25 avec par exemple

$$k_r = 50 \text{ W/ms} \quad \text{et}$$

$$k_f = -100 \text{ W/ms.}$$

On notera que le fonctionnement décrit ci-dessus est indépendant que la valeur de la consigne de puissance croissante ou décroissante appliquée au

- 30 convertisseur. Il est plus simple, comme le montre la figure 4, d'utiliser des valeurs de consigne de puissance constantes, mais ceci n'a pas d'incidence sur le principe de pilotage du convertisseur. Si les consignes de puissance proposées ne sont pas constantes – autrement dit si les valeurs de dP_{IN}/dt appliquées au convertisseur ne

sont pas constant, la condition de stabilité peut alors s'exprimer en indiquant que le taux de variation de la puissance moyen lorsque la consigne est croissante est inférieur à l'opposé du taux de variation de la puissance moyen lorsque la consigne est croissante. Ceci revient à généraliser sur les intervalles temporels de consigne de

5 puissance croissante et décroissante la condition instantanée $k_r < -k_f$.

L'application des consignes proposées au convertisseur continu /continu permet ainsi de faire varier la tension autour de la valeur de tension pour laquelle la puissance extraite du générateur solaire 10 est maximum. Le choix des valeurs de consigne appliquées au convertisseur, comme des valeurs seuils, permet d'adapter le

10 fonctionnement du circuit de conditionnement.

Plus spécifiquement, il est plus simple, du point de vue de l'implémentation du circuit de commande d'avoir des valeurs de seuil V_r et V_f constantes. Ceci ne fait que faciliter la conception du circuit de commande. On pourrait toutefois faire varier ces valeurs seuil en fonction du temps – par exemple pour tenir compte des variations

15 du point MPP.

Le rapport des valeurs absolues des valeurs de seuil V_r et V_f permet de déterminer le point du graphe de la puissance en fonction de la tension autour duquel on se déplace. Dans l'exemple considéré plus haut, des valeurs de seuil constantes et opposées V_r et V_f correspondent à un déplacement autour du point

20 MPP de puissance maximum. Un rapport de valeurs absolues égal à 1 est donc avantageux. Toutefois, on peut aussi choisir d'autres valeurs, ce qui conduit simplement à écarter le point de fonctionnement du point de puissance maximum. Ceci peut être avantageux en fonction de contraintes autres sur le circuit de conditionnement ou sur le générateur.

La figure 4 montre un exemple du principe de réalisation du circuit de commande, dans le cas d'un convertisseur Buck. Le circuit 18 présente un dériveur 26 qui reçoit la tension d'entrée du convertisseur et en fournit la dérivée. La dérivée de la tension est appliquée à un comparateur 28. La sortie du comparateur fournit un signal logique dont l'état dépend de la comparaison entre la valeur de la dérivée de

25 la tension et les valeurs seuils V_r et V_f du comparateur. Le circuit présente un autre dériveur 30 qui reçoit le signal de courant de sortie du convertisseur et en fournit la dérivée. Un additionneur 32 fournit un signal représentatif de la différence entre le

30 signal du comparateur 28 et le signal de dérivée fourni par le deuxième dériveur 30.



Le signal fourni par l'additionneur est appliqué à un contrôleur 34 dont le rôle est d'annuler la consigne. Le signal de sortie du contrôleur forme le signal de sortie du circuit de commande 18.

Le fonctionnement du circuit de la figure 4 est le suivant. Le comparateur
 5 fournit en sortie un signal fonction de la position de la dérivée de la tension d'entrée du convertisseur par rapport aux valeurs seuil V_r et V_f . Ce signal est comparé à la dérivée du courant de sortie du convertisseur, après une mise à l'échelle non-représentée sur la figure. Cette dérivée du courant de sortie constitue une bonne approximation de la dérivée de la puissance appliquée en entrée du convertisseur, du
 10 fait que :

- la puissance consommée par le convertisseur continu / continu est faible;
- la tension de sortie du convertisseur est sensiblement constante, dans la mesure où le convertisseur est utilisé comme source de tension.

Le contrôleur assure donc que

15 $di_{out}/dt < 0$ ou > 0 (dans un rapport < -1)

en fonction du résultat de la comparaison de dV_{in}/dt avec les valeurs seuils. Avec V_{out} sensiblement constante, on a bien la consigne requise.

Le montage de la figure 4 n'est qu'un exemple d'un circuit de commande utilisable pour le convertisseur continu / continu. On peut aussi utiliser d'autres types
 20 de circuits de commande pour comparer les dérivées des tensions et appliquer les consignes requises. On peut aussi prévoir d'autres capteurs que les capteurs 20, 22 de la figure 2. Le montage des figures 2 et 4 présente néanmoins l'avantage de la simplicité; ainsi, il n'est pas nécessaire de disposer d'un microcontrôleur; le nombre de composants est aussi plus restreint que dans la solution proposée dans l'article de
 25 W. Denzinger plus haut.

Bien entendu, l'invention n'est pas limitée aux exemples décrits plus haut. Ainsi, on a mentionné un convertisseur Buck, adapté au cas d'une tension de sortie inférieure à la tension d'entrée. On pourrait aussi utiliser d'autres types de
 convertisseurs; par exemple, si la tension d'entrée est inférieure à la tension de sortie,
 30 on pourrait utiliser un convertisseur PWM du type Boost. D'autres topologies de convertisseurs permettent aussi un fonctionnement lorsque le rapport entre la tension d'entrée et la tension de sortie varie autour de 1. Le type de convertisseur utilisé ne change pas le principe de la commande décrit en référence à la figure 3.

REVENDICATIONS

1. Un circuit de conditionnement d'une source de puissance (10) pour laquelle le graphe de la puissance fournie en fonction de la tension aux bornes de la source présente un maximum, le circuit comprenant :
 - un convertisseur continu / continu (14) avec une entrée pour l'alimentation par la source de puissance et une sortie pour alimenter une charge;
 - un circuit de commande du convertisseur par une consigne de puissance appliqué au convertisseur
- croissante tant que la dérivée de la tension d'entrée du convertisseur par rapport au temps est supérieure à une première valeur seuil négative et
- décroissante tant que la dérivée de la tension d'entrée du convertisseur par rapport au temps est inférieure à une deuxième valeur seuil positive,
- le taux de variation de la puissance moyen lorsque la consigne est croissante étant inférieur à l'opposé du taux de variation de la puissance moyen lorsque la consigne est décroissante.
2. Le circuit de la revendication 1, caractérisé en ce que la première valeur seuil est constante.
3. Le circuit de la revendication 1 ou 2, caractérisé en ce que la deuxième valeur seuil est constante.
4. Le circuit des revendications 3 et 4, caractérisé en ce que les première et deuxième valeur seuil sont opposées.
5. Le circuit de l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que la consigne de puissance croissante appliquée au convertisseur est une consigne de dérivée constante et positive de la puissance par rapport au temps.

- 6.** Le circuit de l'une des revendications 1 à 5, caractérisé en ce que la consigne de puissance décroissante appliquée au convertisseur est une consigne de dérivée constante et négative de la puissance par rapport au temps.
- 7.** Le circuit des revendications 5 et 6, caractérisé en ce que la dérivée constante et positive est inférieure à l'opposé de la dérivée constante et négative.
- 8.** Un générateur conditionné, comprenant :
- un circuit selon l'une des revendications 1 à 7;
 - une source de puissance (10) pour laquelle le graphe de la puissance fournie en fonction de la tension aux bornes de la source présente un maximum, la puissance fournie par la source étant appliquée en entrée du convertisseur continu / continu (14).
- 9.** Le générateur de la revendication 8, caractérisé par une capacité (12) en parallèle à la source de puissance.
- 10.** Le générateur de la revendication 8, caractérisé en ce que la source présente une capacité intrinsèque.
- 11.** Le générateur de la revendication 8, 9 ou 10, caractérisé en ce que la source de puissance est un générateur solaire.
- 12.** Un procédé de conditionnement d'une source de puissance (10) pour laquelle le graphe de la puissance fournie en fonction de la tension aux bornes de la source présente un maximum, la puissance fournie par la source (10) étant appliquée à un convertisseur continu / continu (12), le procédé comprenant l'application au convertisseur d'une consigne de puissance d'entrée
- croissante tant que la dérivée de la tension d'entrée du convertisseur par rapport au temps est supérieure à une première valeur seuil négative et
 - décroissante tant que la dérivée de la tension d'entrée du convertisseur par

rapport au temps est inférieure à une deuxième valeur seuil positive, le taux de variation de la puissance moyen lorsque la consigne est croissante étant inférieur à l'opposé du taux de variation de la puissance moyen lorsque la consigne est décroissante.

- 5 **13.** Le procédé de la revendication 12, caractérisé en ce que la première valeur seuil est constante.
- 14.** Le procédé de la revendication 12 ou 13, caractérisé en ce que la deuxième valeur seuil est constante.
- 10 **15.** Le procédé des revendications 13 et 14, caractérisé en ce que les première et deuxième valeur seuil sont opposées.
- 16.** Le procédé de l'une des revendications 12 à 15, caractérisé en ce que la consigne de puissance croissante appliquée au convertisseur est une consigne de dérivée constante et positive de la puissance par rapport au temps.
- 15 **17.** Le procédé de l'une des revendications 12 à 16, caractérisé en ce que la consigne de puissance décroissante appliquée au convertisseur est une consigne de dérivée constante et négative de la puissance par rapport au temps.
- 20 **18.** Le procédé des revendications 16 et 17, caractérisé en ce que la dérivée constante et positive est inférieure à l'opposé de la dérivée constante et négative.

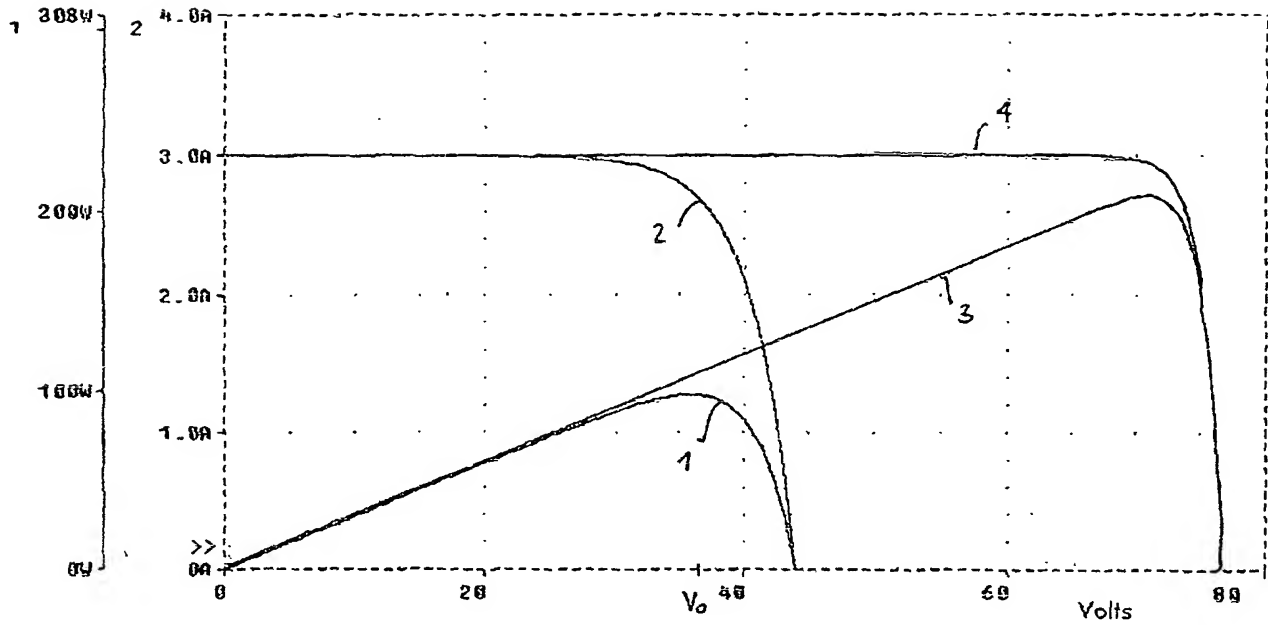
$\frac{1}{2}$ 

fig. 1

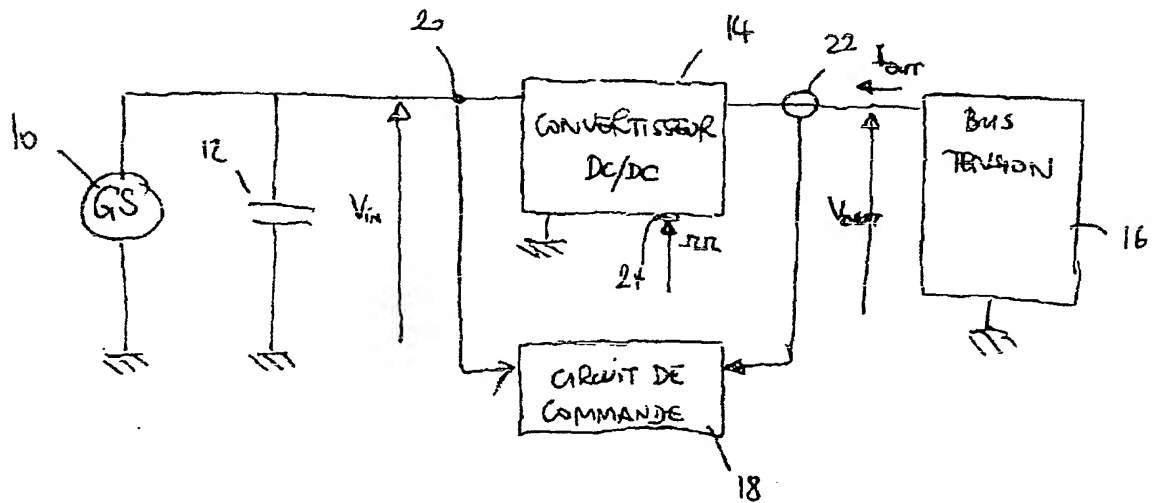


fig. 2

2/2

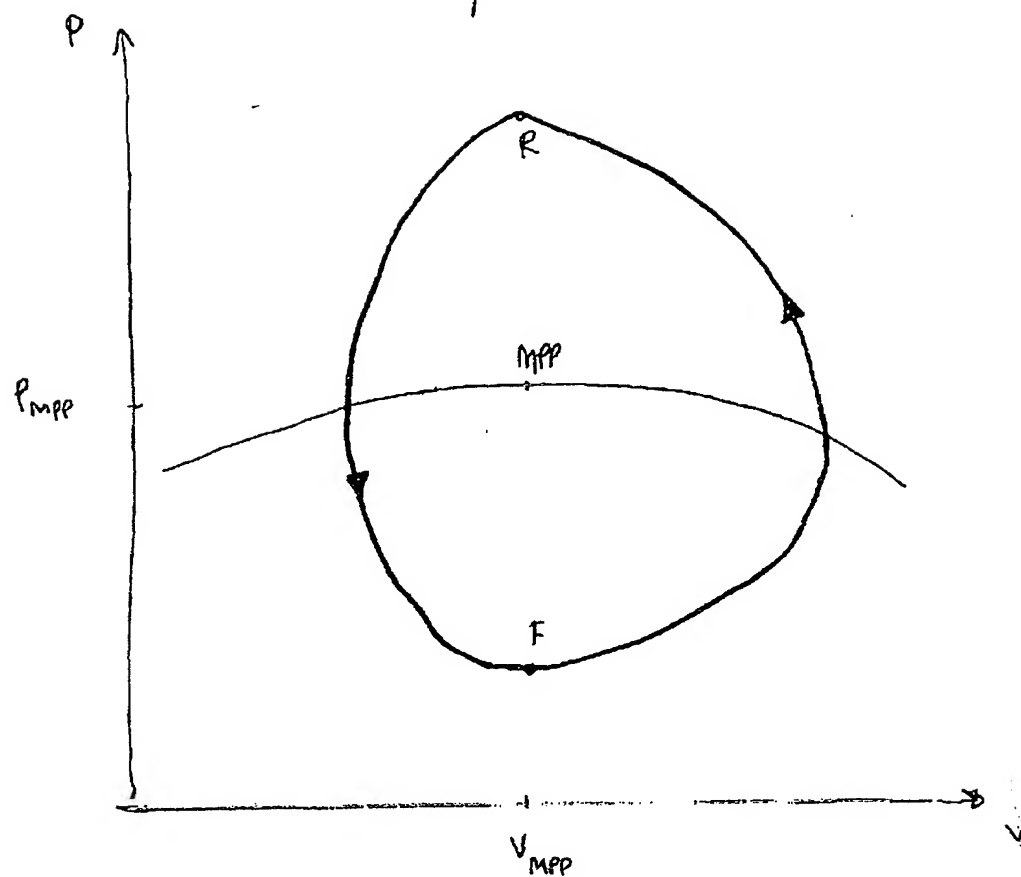
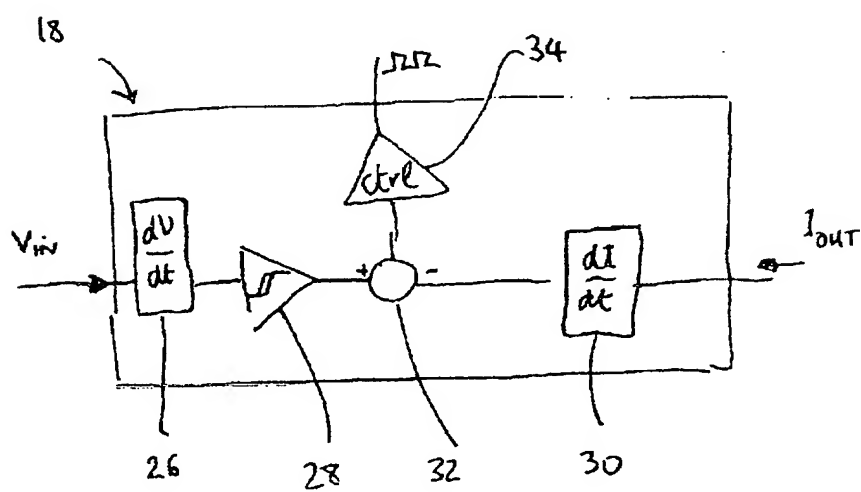


fig. 3



DÉPARTEMENT DES BREVETS

26 bis, rue de Saint Pétersbourg
75800 Paris Cedex 08

Téléphone : 01 53 04 53 04 Télécopie : 01 42 93 59 30

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° .1./1..

(Si le demandeur n'est pas l'inventeur ou l'unique inventeur)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

08 113 W / 260839

Vos références pour ce dossier (facultatif)		120698/SH/SSPD/CBa	
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		0210140	
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum) CIRCUIT DE CONDITIONNEMENT D'UNE SOURCE AU POINT DE PUISSANCE MAXIMUM			
LE(S) DEMANDEUR(S) : Société anonyme ALCATEL			
DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) : (Indiquez en haut à droite «Page N° 1/1» S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez un formulaire identique et numérotez chaque page en indiquant le nombre total de pages).			
Nom		DELEPAUT	
Prénoms		Christophe	
Adresse	Rue	BRONSTRAAT 34	
	Code postal et ville	B-1700 DILBEEK - BELGIUM [Belgique]	
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
Nom			
Prénoms			
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
DATE ET SIGNATURE(S) XX DU DEMANDEUR(S) XX DU MANDATAIRE (Nom et qualité du signataire)		9 Août 2002 Stéphane HEDARCHET 	